

国外专题情报资料

7501总006

纤维水泥与纤维混凝土

江西省水泥制品科学研究所

1975年5月

编 者 的 话

玻璃纤维增强塑料（即玻璃钢）的成功发展，引起世界各国对用石棉以外的纤维来增强水泥制品的广泛兴趣。水泥和混凝土固有的抗拉强度低、脆性大等缺陷，要求对材料本身加以改性；建筑上对构件轻质化和防火性能的要求日益迫切，以及建筑构件生产向机械化和自动化的发展等，也要求在新型建筑材料的研制上有新的突破。因此，与纤维复合作为材料的一项改进措施引起各国重视不是偶然的。

汇编这份资料的目的是，期望和读者共同来掌握国外目前在纤维水泥和纤维混凝土研究和应用中的动态，弄清纤维增强对改进水泥和混凝土所提供的可能性和局限性，分析当前研究与应用中存在的问题，从而判断国外在这项研究中实际达到的水平及今后发展的趋势。

由于我们马列主义、毛泽东思想学得不好，收集的资料也很有限，《汇编》内介绍的内容可能不够齐全，其中也可能有不少错误，恳切希望各单位读者提出批评和指正。

以下附带将常用单位的换算作一说明，译文中的换算或许有错，均以注明的英制或国际力学单位为准。

$$1\text{kg (公斤)} = 9.80665\text{N (牛顿)}$$

$$1\text{N (牛顿)} = 0.10197\text{kg (公斤)}$$

$$1\text{N/mm}^2 (\text{牛顿/毫米}^2) = 10.197\text{kg/cm}^2 (\text{公斤/厘米}^2)$$

$$1\text{KN/mm}^2 (\text{千牛顿/毫米}^2) = 10.197 \times 10^3 \text{kg/cm}^2 (\text{公斤/厘米}^2)$$

$$1\text{MN/m}^2 (\text{兆牛顿/米}^2) = 10.197\text{kg/cm}^2 (\text{公斤/厘米}^2)$$

$$1\text{N}\cdot\text{mm/mm}^2 (\text{牛顿}\cdot\text{毫米/毫米}^2) = 10.197 \times 10\text{kg}\cdot\text{cm/cm}^2 (\text{公斤}\cdot\text{厘米/厘米}^2)$$

$$1\text{psi (磅/吋}^2) = 0.0703\text{kg/cm}^2 (\text{公斤/厘米}^2)$$

$$1\text{ksi (公斤/吋}^2) = 70.31\text{kg/cm}^2 (\text{公斤/厘米}^2)$$

$$1\text{mil (密尔)} = 25.4\mu\text{m (微米)}$$

$$1\text{in (吋)} = 2.54\text{cm (厘米)}$$

$$1\text{ft (呎)} = 0.3048\text{m (米)}$$

$$1\text{yd (码)} = 0.9144\text{m (米)}$$

$$1\text{lb (磅)} = 0.4536\text{kg (公斤)}$$

$$1\text{lb/yd}^3 (\text{磅/码}^3) = 0.5933\text{kg/m}^3 (\text{公斤/米}^3)$$

1975年5月

目 录

简明动态

(1) 渥太华“纤维混凝土性能与用途”会议。(2) “英美纤维混凝土会议”报导。(3) 日本纤维混凝土研究的重点。(4) 美国玻纤混凝土研究简况。(5) 苏联研制玄武岩纤维。(6) 捷克用玄武岩纤维代替石棉的试验。(7) 钢纤维混凝土人孔盖。(8) 钢纤维混凝土大型公路路面。(9) 美国钢纤维的生产规格和成本。(10) 英国赛姆菲尔玻纤水泥的发展概况。(11) 加拿大发明纤维—水泥复合材料的新制造方法。(12) 纤维混凝土圆顶结构的挤压成型。(13) 聚合物浸渍改进纤维—水泥复合材料的性能。

综 述

1. 纤维在水泥和混凝土中的应用.....(19)
2. 纤维混凝土的进展.....(25)
3. 纤维混凝土的发展现状.....(35)
4. 纤维增强的目的和方法.....(46)
5. 纤维混凝土评论.....(51)

分 述

6. 钢纤砂浆与钢纤混凝土.....(60)
7. 赛姆菲尔玻纤水泥.....(66)
8. 玻璃纤维增强水泥制品.....(71)
9. E玻璃纤维增强高铝水泥.....(79)
10. 聚丙烯纤维混凝土.....(82)
11. 用聚丙烯纤维代替钢筋制造桩壳.....(85)
12. 碳纤维水泥混凝土.....(86)

测 试

13. 纤维增强复合材料粘结强度的测定.....(93)
14. 鉴定玻璃纤维在不透明基体中的数量和分布的方法.....(97)

简 明 动 态

1. 渥太华“纤维混凝土性能与用途”会议。

此次会议系美国混凝土协会1973年秋季会议的一个分组会，历时1天(10月11日)，有其它5个国家的代表参加。会议宣读了以下有关纤维水泥和纤维混凝土性能和用途的报告。

(1) 纤维增强水泥基体的机理

英国 R. N. Swamy

报告指出，罗缪尔迪十年前提出的一般理论(即由于加入纤维而引起的拉应力的增大与纤维间距成反比)与最近得出的实验结果不符。作者就其中短纤维三度分布的材料提出了自己的所谓“有效间距”的新概念，使纤维间距与复合材料的抗挠强度相关联。据称，利用这种关系，纤维混凝土初裂时和破坏时的抗挠强度计算值，与不同出处的实验数据都非常一致。

(2) 纤维增强脆性基体材料

丹麦 H. Krenchel

报告将纤维增强塑料(玻璃钢)与纤维增强水泥材料相比较，指出前者由于纤维比例占体积20~30%以上，容易达到纤维增强的高效率，后者则不然。对于实际用途，纤维增强水泥复合材料宜分为两类：集料为基

体主要组份的为二类(包括混凝土、砂浆)，基体中没有集料的为另一类(包括水泥浆、石膏浆、压蒸硅酸钙等)。前一类中，纤维方向是三度任意分布的，能够加入的纤维数量有限(体积1~2%)，纤维是与其它组份一起混拌的。后一类中，纤维的方向一般是二度的；或在平面上任意分布；纤维掺量可达体积的5~10%。

进一步比较水泥和混凝土用的各类纤维。从机械性能和目前市场价格看，现在取得最好效果的是特种玻璃纤维增强净波特兰水泥和石膏灰泥等以及玻璃纤维和钢纤维增强砂浆和混凝土。人造矿棉纤维和最便宜、最强韧的塑料纤维；从强度成本看，是有前途的，极有可能作为水泥和混凝土的筋材，但松解以及将这些纤维加入脆性基体的工艺问题尚未解决。

目前正在进行的人造矿棉纤维水泥层压板的试验，是先将矿棉松解，制成重约40克/米²的薄纱，在一片片薄纱上涂以水泥浆，叠在一起成为数层纤维水泥制成的层压板。现已用平均直径5 μ m、外形比1,500~2,000的矿棉，制得了含纤维为体积5~7%的复合材料，性能与石棉水泥类似。

(3) 纤维筋材对混凝土混合物流变性的影响

英国 Ritchie, T. A. Rahman

研究加入少量聚丙烯纤维和规律变截面钢纤维对一系列混凝土混合物流变性的影响。研究颗粒干扰作用对纤维效率的影响。

基体材料包括从水泥砂浆到最大集料尺寸为20mm的混凝土混合物。流变性的研究总的分为两部份：第一，研究纤维加入量和不同类型纤维在零时间里对流动性能的影响。流变特性包括稳定性（规定为内部水的泌出和混合物的分离）和活动性（规定为用新提出的 Vane 试验记录的粘聚力和内阻力测定值）；第二，研究纤维对各种混合物刚度发展速度和早期强度发展的影响。据认为，研究的这些因素与混凝土的施工有很大关系，例如混凝土对模板产生的内压力，早期拆模对混凝土构件结构强度的影响等。

结果表明，在多数情况下加入纤维对未凝固的混凝土的流变性是有利的。粘聚力大大提高，泌水数量大为减少，二者均随纤维加入量增大而进一步得到改进。未凝固混凝土刚度随时间的发展速度显著增大，因而减少了对模板和设备的侧面压力。

(4) 钢纤维增强由调凝水泥和煅烧粉煤灰制得的轻质混凝土的强度和性状

美国 M. Gunasekaran; Y. Ichikawa

将外形比分别为62.5和77的镀铜钢纤维和不锈钢纤维加入到调凝水泥和煅烧粉煤灰制得的分批拌制的轻混凝土中。介绍和讨论了纤维掺量为混凝土重量2.5%、5%和10%时中跨加载的 $6 \times 6 \times 36$ 吋筒支梁的抗弯强度和性状。还在现有一些弯曲理论的范围内，考察和论述了含变截面钢纤维的梁的极限强度。介绍和讨论了不掺纤维的试体；掺2.5%镀铜钢纤维、掺2.5%镀铜钢纤维和0.04平方吋变截面钢纤维受拉筋、掺2.5%镀铜钢纤维和0.08平方吋变截面钢纤维受拉筋的梁在三点荷载和早期试验（5天）中的荷载—挠度数据。证实了混凝土的性能由于加入纤维而得到了改进，此外，由于使用特种

快硬水泥，模板周转也快得多。提出了预测钢纤维混凝土梁极限强度的方法。根据实际实验数据，预测的极限强度值在试验值的约40%以内。

(5) 玻纤混凝土的一些性能

日本 Junji Takagi

介绍用五玻璃纤维增强高铝水泥获得的实验强度数据。由于加入基体的纤维最大数量只有1%，复合材料强度只有中等程度的改进。

(6) 论纤维混凝土的破坏韧度

印度 S. R. Parimi

(7) 玻纤水泥

英国 A. J. Majumdar; A. G. Tallenfire

“喷吸法”成型的赛姆菲尔玻纤水泥（短切纤维掺量为体积4%），在不同的储藏条件下，其三年后的抗弯强度超过 20 MN/m^2 (200 Kg/cm^2)。其它突出的性能是破坏韧度和耐火性。

(8) 钢纤维混凝土桥面和路面盖层

美国 D. R. Lankard; A. J. Walker

介绍此种材料在美国各地的一些应用。短钢纤维的离析和结团问题现在看来已经解决，浇注面层的厚度达101mm。假如更厚的话，则不能完全避免开裂。据称，通过利用收缩补偿水泥和巧妙选择外加剂，可以克服这一困难。钢纤维在混凝土中的加入量视用途而定。长度达63.5mm、外形比 > 100 的钢纤维也可加入混凝土里，而性能比对照试体有很好的改进。

(9) 玻纤水泥砖墙抹面

美国 T.E. Peouil; H.N. Marsh;
E. Thomas

详细介绍欧文斯—康宁玻璃纤维公司产的耐碱玻璃纤维的一种特殊用途——以重量4%的纤维与水泥—石灰的混合物配制成玻纤水泥，涂抹干砌墙砖的两面，将干砌的墙砖粘接在一起，无须砂浆勾缝，以此作为一种低造价的盖房方法；涂层厚度为3.2mm。与普通砂浆抹面的墙相比，这种方法使墙的抗挠强度提高2倍，抗冲强度大20%，抗压强度虽只有砂浆墙的65%，但仍在多数混凝土砖墙设计荷载的范围内。施工速度只为砂浆墙的58%。用这种材料制得的1.22m×2.44m的板，进行一系列试验后表明，强度、抗冲能力、防火、防雨都很好。

(10) 钢纤混凝土防波堤保护构件的研究

美国 S. Barab; D. Hanson

防波堤保护构件（见图1），重42~43吨，每边长4.6米，是迄今浇注的纤维混凝土最大结构构件，系用来保护码头，防止海浪冲击。混凝土中含有直至76mm的各种尺寸的集料，纤维长38mm，均由传送带喂入

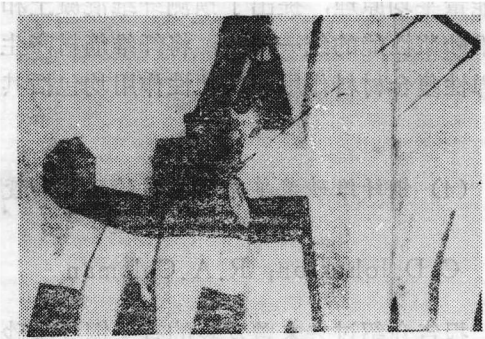


图1

自动拌合设备中。浇制过程中，这种材料的振动比普通混凝土大2倍。现已制造了2500个这样的构件。

(11) 钢纤维混凝土的离心制品

加拿大 E.F.P. Burnett; T. Constable

介绍钢纤混凝土厚壁离心管和电杆的中间生产研究结果。钢纤混凝土由高早强水泥和矿渣水泥制得。钢纤维为长25.4mm、直径0.406mm的规则变截面。钢纤维掺量为体积的1~2%。试验研究的参数，包括钢丝纤维的类型、纤维的加入量、粗细集料的相对比例和水灰比。还研究了离心速度、离心时间和离心能输入的影响。发现离心对纤维筋材的分布和方向有显著影响。证明了采用10~15分钟、600~700转/分的离心制度，在纤维掺量小到为体积1%时，容易制得弯曲抗拉强度超过70kg/cm²的电杆。建议将有关混合物配比和离心作用的数据，应用于制造钢纤维混凝土离心电杆。

(12) 大直径钢纤维混凝土管的研究

美国 R.L. Henry

研究利用钢纤维筋材全部或部份代替钢筋骨架，制造长0.91m、直径1.37和1.52m的钢纤维混凝土管。使用的纤维为长19.1mm的碳钢钢丝，加入量为混凝土体积的1.08%。由于采用外部振动，避免了纤维结团。以同样美元值或同样体积的钢筋骨架代替普通钢筋骨架制得的管子，可以满足美国材料试验标准对极限荷载的要求，但不能满足对出现0.25mm裂缝时的初裂荷载的要求。据估计，按实验规定的标准，1.52m的管子如配置外部骨架，并掺入至少0.72%的钢纤维，即可满足最低限度要求；无骨架的1.37m管子，如掺入至少3.5%的钢纤维，也可满足最低

限度要求,但成本要比普通钢筋混凝土管贵。

●13) 纤维混凝土制品的设计

加拿大 M.H.Azmi

以上报告,现已全部收入美国混凝土协会1974年出版的新书——《纤维混凝土》(Fiber Reinforced Concrete)中。此书尚包括以下提交美国混凝土协会544分组会,但未在会议上宣读的报告:

(1) 钢纤维浆和钢纤维混凝土:机械性能评论

C.D.Johnston

报告首先简要地评述能够用于比较纤维混凝土和素混凝土性能的各种方法,说明使用方法是怎样影响成本/性能比的。然后,根据问题的总的两个不同系列的变数,亦即纤维参数和基体参数,论述如何确定纤维混凝土系统的最佳组成。运用公开发表的大量文献,详尽论述纤维方面的问题,认为纤维砂浆和纤维混凝土的许多机械性能主要决定于纤维加入量和外形比。直径若在0.006~0.06吋(0.15~1.5mm)的纤维绝对尺寸,除了对小试验试体的纤维方向的任意性有影响外,并没有大的影响。纤维横截面的形状,对于均匀的纤维来讲,也是不重要的,但有迹象表明,变截面纤维(Duoform)要比规则纤维好。报告最后谈到基材方面有待解决的一些问题。据认为,基材方面的研究至今是被忽视的,如果要使纤维混凝土成为一种广泛使用的建筑材料,就必须对这方面的研究给予更多的重视。

(2) 碳纤维水泥复合材料

J.A.Waller

碳纤维是连续纤维,不是短的纤维,其

制造方式便于用水泥浆加以浸渍。在三点荷载中,当纤维加入量为体积的12.5%时,断裂模量的最大值达到 295N/mm^2 (300kg/cm^2),稍高于预定值。弹性模量约为预定值的50%。还进行少量的直接抗拉试验。极限抗拉强度约为预定值的50%,弹性模量为40%。介绍一些缩小为 $\frac{1}{4}$ 的结构构件,讨论了复合材料的可能的结构用途。初步成本分析表明,如果大规模生产,每磅纤维可降到5美元左右。到那时候,用这种复合材料预制的楼板就可以与多层建筑用的普通预制板相媲美。

(3) 纤维增强波特兰水泥和混凝土及其断裂模量的预测

E.L.Buckley; N.J.Everard

少量的短钢纤维的应用已获得一些成功,表明用它作为波特兰水泥砂浆和混凝土的筋材是有希望的。在纤维筋材的选择中,一些新型的纤维材料将可以用来代替钢纤维。其中有些是弹性比钢大,有些是刚性比钢大。通过大量的实验,测定了硼纤维、石墨纤维和玻璃纤维增强混凝土和砂浆的一些物理性能。记录的数据表明,玻璃纤维是具有实际应用可能性的一种筋材。尤其重要的是,这些数据的掌握使得对任何纤维混凝土或纤维砂浆的破坏机理有了更好的了解。根据能量平均原理,提出了预测纤维混凝土和纤维砂浆性能的统一理论,将纤维筋材产生的弹性复合材料作用和假塑性作用均包括其中。

(4) 钢纤维砂浆单向受拉时的强度和变形

C.D.Johnston; R.A.Coleman

报告介绍过去未曾发表的有关钢纤维砂浆和钢纤维混凝土单向受拉性能的资料。使

用镀其它金属的圆截面、矩形截面和变截面的纤维以及镀铜的圆截面纤维等，掺入量为重量6%，外形比30~150。由40份混合物获得的结果，说明纤维形状、尺寸、外形比和加入量对抗拉强度、变形和韧性的影响。不论横截面的形状和尺寸如何，纤维加入量和外形比是两个最重要的变数。强度、变形和韧度的增大率基本上与纤维加入量成正比，根据观测值，还与升至约1.5乘幂的外形比有关。这些变数的最有效的结合：外形比约为100的纤维，掺入量6%，可使强度提高31%，破坏应变增加28%，韧性增大68%。

(5) 钢纤对混凝土抗压强度的影响

G.R. Williamson

研究钢纤维对混凝土和砂浆静压强度的影响。用6×12吋、4×8吋和3×6吋的圆柱体，对砂、最大集料 $\frac{3}{8}$ 吋和最大集料 $\frac{3}{4}$ 吋等三种不同混合物进行180次试验。使用的纤维尺寸为0.01×0.022×1.0吋，加入量为体积1.0%、1.5%、2.0%和2.5%，并采取消除基体发生任何强度变化的措施。发现含砂混合物的抗压强度稍有下降；含 $\frac{3}{8}$ 吋和 $\frac{3}{4}$ 吋集料的混合物，强度分别提高16%和23%。介绍的数据表明，纤维混凝土的强度明显地与含砂量成反比。还介绍了不同纤维百分比时的杨氏模量值和泊桑比值。

(6) 纤维混凝土的承载能力

W.F. Chen; J.L. Carson

通过试验直径6吋、高度不等的圆柱体，测定任意分布的钢纤维对纤维混凝土承载能力和延性的影响。发现纤维增强材料的承载能力明显地大于未增强的材料。利用塑性理论提出的塑性限度分析，可以精确地预

测增强材料和未增强材料。任意分布的钢纤维增强的材料，其延性较大，与理论预测的更为吻合。还发现，混凝土材料在轴向弯矩应力的条件下所承受的拉应变，要比直接抗拉试验测得的拉应变大13~14倍。

(7) 作为混凝土、砂浆和泥浆筋材的涂敷树脂的玻璃纤维的性能。

H. Roper; D. Stitt; P. Lawrence

扼要介绍各种不同直径的加涂层的E玻璃纤维捻线的制造方法。比较经树脂涂料处理和未经处理的E玻璃纤维在碱性环境中的抗拉强度、杨氏模量、徐变和破坏程度，并与耐碱玻璃的耐碱度相比较。介绍定向配置加涂层连续捻线的水泥浆和砂浆试体的抗弯和抗冲击实验数据，并与不配置纤维和配置不加涂层E玻璃纤维的试体作了对比。将纤维材料本身耐碱性的短期试验与水泥浆和砂浆获得的数据作了对比。示出纤维破坏的电子显微镜照片，并介绍单根纤维的粘结强度数据。介绍利用加涂层的E玻璃纤维棒作为混凝土梁辅助筋的数据，并与钢筋混凝土的挠度和破坏数据作了比较。据认为，在评定纤维的最佳长度和破坏机制时，粘结强度是极重要的一个属性，任何纤维筋材都要准确测定。

(8) 混凝土中的玻璃纤维

H.N. Marsh; L. Lawrence;
Jr. Clarke

研究耐碱玻璃纤维对波特兰水泥混凝土物理性能的影响。改变纤维的长度、纤维的数量、水泥量、水灰比和粗细集料比。测定初裂和极限抗弯强度以及抗压强度。测得初裂抗弯强度大于1,300磅/吋² (91公斤力/厘米²)，极限抗弯强度大于2,300磅/吋² (162公斤力/厘米²)。这些材料的抗压强度保持在未掺纤维的材料强度水平或稍有提高。

加入玻璃纤维时，混合物的工作度下降，不过实验室和现场试验都表明，这些材料仍然保持着可以用普通方法浇注和修整的充分的工作度。用途现在正在发展，将这种料应用于要求高抗弯强度和抗拉性的地方。介绍了其中一些用途。

(9) 论耐碱玻璃纤维增强的高早强轻质聚合物浸渍混凝土的性能和性状

M. Gunasekaran; Y. Ichikawa;
A. B. Dunlap

介绍由调凝水泥制得的并以耐碱玻璃纤维增强的轻质煅烧粉煤灰集料混凝土的一些主要结构性能。论述纤维数量、纤维长度、纤维表面处理 and 聚合物浸渍对混凝土性能的影响。在实验范围内发现，加入玻璃纤维显著地提高了轻集料混凝土的抗拉强度；水灰比为0.4、纤维长度为0.5或1吋时，未浸渍的混凝土，其抗拉强度因加入重量1%欧文斯—康宁N°885玻璃纤维后所提高的幅度，要比加入2倍、甚至3倍上述数量的纤维时大；聚合物浸渍混凝土的抗拉强度随纤维加入量的增加而提高；混凝土中纤维的数量和长度，影响试验试体在不同温度、湿度条件下的收缩；2×2×7吋的玻璃纤维增强、聚合物浸渍的梁试体，其抗弯强度按美国材料试验协会ASTM C293—68测定约2,000磅/吋²（140公斤/厘米²）。

(10) 作为波特兰水泥砂浆筋材的E玻璃纤维纤维的性能

F. Geoman

用于测定E玻璃纤维在水泥基体中发生碱性反应影响的多数试验方法，都不能使试验和实际现场条件很好地联系起来。文中探索了新的试验方法，并试图证实可以配制在

水泥基体中安全使用的E玻璃纤维。浇注了E玻璃纤维砂浆棒后，置于23°和38℃的水中储放一年。试验了棒件在这一年期间的抗弯强度、相对动弹模量和线膨胀。结构完整性始终保持着，未发现碱性反应的影响。

(11) 混凝土用的闭合圈状的纤维筋材

M. A. Taylor

据称，使用闭合圈状的纤维比直纤维有以下三个优点：①拌合和浇注要容易得多；②除通常的摩擦粘聚力外，尚可利用纯粹的机械锚固力；③圈状的几何形使纤维用来增强混凝土要比砂浆更为容易，这一点从经济上讲尤为重要。用远不是理想的纤维圈所进行的初步试验表明，与普通混凝土相比，后期最大强度、延性、完整性和抗疲劳特性都大有提高。

(12) 钢纤维混凝土的一些实际结构用途

R. N. Swamy; B. Kent

报导钢纤维混凝土的两种现场用途：伦敦停车场的上承板和制造混凝土管。介绍上承板的设计依据及其制造详况。列举不同纤维加入量时两种尺寸板的极限荷载和卸载恢复试验结果。还报导了加入纤维筋材的预制混凝土管的试验。扼要地评述纤维筋材的经济性。试验结果表明，钢纤维混凝土用于结构用途可获得满足要求的荷载能力、卸荷恢复能力和必要的安全系数。

(13) 纤维混凝土的装卸和浇注

R. E. Beckett

文中讨论纤维混凝土的装卸和浇注方法，提出改进纤维混凝土装卸和浇注的特殊设备。还讨论以下问题：①纤维在混凝土中的使用及其背景；②纤维的类型；③石棉水泥用的纤维；④玻璃纤维；⑤碳纤维；⑥聚丙烯纤维；⑦钢纤维。

(14) 钢纤维混凝土最佳组成的确定及其用途

C. E. Luke; B. C. Waterhouse

研究钢纤维几种变数对混凝土抗弯强度的影响。介绍了纤维长度、直径、形状和加入量对混凝土初裂和极限强度的影响的有关数据。还介绍了两次现场应用的结果。

(15) 在局部预加应力的混合混凝土梁中的钢纤维

D. C. O'Leary; N. J. Dave

作为研究足尺局部预加应力混合“丁”字梁弯曲状况的一部分，将三度任意分布的钢纤维加入限定数量的腹板里。在局部预加应力结构构件的设计中，挠度极限状态和局部损坏常使设计准则受到限制。当钢纤维加入受弯构件的受拉区时，预计结构状况将获得改进。对小型钢筋混凝土梁进行的初步试验，将这一点加以具体化。因此，对四个足尺的局部预加应力的“丁”字梁进行了静载试验。梁由局部施加预应力的×梁腹和轻集料混凝土翼缘组成。钢纤维加入其中两根梁的梁腹。根据强度、开裂和变形情况来考虑梁的结构状况。试验表明，钢纤维材会使局部施加应力的混合“丁”字梁的弯曲状况得到一些改进。

(16) 溢洪道试验中纤维混凝土的泵送

R. A. Kaden

介绍利用钢纤维混凝土作为高速水道，尤其是高速溢洪道挡泥板突缘耐磨表面的建筑材料。钢纤维在距离现场约45公里的小型拌合设备内用手工分批配料。纤维混凝土由中转拌合车送到工地，并由强制式排出泵和内径12.7cm的管道传送到浇注地点。介绍收料、评质和质量控制的实验室和现场试验结果。

(17) 纤维水泥在混凝土混合结构中的结构用途

N. J. Dare; D. C. O'Leary

纤维水泥和钢筋混凝土或预应力钢筋混凝土受弯构件在结构上加以结合时，预计结构性能将得到一些改进。为证实这种改进，对钢筋混凝土和局部预加应力的混凝土梁进行了实际试验。将纤维水泥板配置在一系列足尺局部预加应力混合“丁”字梁的拱腹板，研究其挠曲状况。“丁”字梁由预制的局部预加应力X梁腹和轻集料混凝土翼缘组成，进行短期承重和疲劳试验。根据强度、开裂和变形情况，判断梁的结构性能。与普通混凝土比较，利用纤维水泥板作为混凝土混合构件总体结构的一部份，带来一些重要的优点。试验结果表明，异形纤维水泥板大大改进钢筋混凝土和局部预加应力混凝土混合梁的结构性能。

(18) 附录：纤维混凝土发展现状（见综述译文之3）

—ACI Committee 544

（以上资料摘译自《Journal of ACI》，1974, №1, N 8 ~ N12; 1974, № 8, 413~420; 《Composites》，1974, №4, 181~182）

2. “英美纤维混凝土会议”报导

1972年9月27日在英国伯明翰大学举行。发言人罗谬尔迪在报告中指出：“纤维混凝土的应用正在超过研究积累的知识”。有关钢纤维，美国泰勒—伍德罗公司介绍利用摇筛将纤维分布在传送带上，再由传送带吹入可倒转的鼓筒式搅拌机内，以此解决了钢纤维混凝土的现场拌合问题，使纤维在拌合

过程中得以分散，不致结球。会上介绍了提高钢纤粘结力的不同处理方法——去油脂、酸蚀、糙面、镀锌等等，但认为采用 Duof-orm 型的变截面钢纤维或使纤维两端相接成圈，是最好的解决办法。有关钢纤混凝土的用途，介绍了英国首次利用这种材料制成铺设多层停车地板用的厚 $65\text{mm} \times 1\text{m}^2$ 预制板，纤维掺量为 3%。钢纤混凝土的其它预制用途，包括抗爆安全装置和人孔盖。

会上介绍了聚丙烯混凝土的一个新用途，即直接利用这种材料来代替木柴，以消除采矿巷道中钢拱的应力。含聚丙烯的顶板支护砌块，尺寸约为 $400 \times 100 \times 100\text{mm}$ ，堆成 500mm^2 的方柱。砌块浇注成城形，使之产生局部联锁，并具有较高的应变特性。堆成的砌块方柱其荷载-变形特性与要代替的硬木类似。

会上介绍了使用混合纤维的一些实验。其中之一是英国建研所正在研究的一种板子，拟采用不同的切短器，同时掺入高模量的耐碱玻璃纤维和低模量的聚丙烯纤维。还有在高铝水泥基体中同时掺入钢纤维和玻璃纤维，使制得的耐火柱耐温超过 $2,000^\circ\text{C}$ 。此外，在一次道路维修试验中，结合使用了单向钢纤维和任意分布的短切耐碱玻璃纤维。

还介绍了在普通钢丝网上喷射钢纤砂浆，制成 $9.1 \times 2.4\text{m}$ 的水上平台，中间甲板厚仅 22mm ，焊接钢丝网的保护层平均只 5mm 。加砂之前，先用水泥浆裹住一根根纤维，因此有些这样的水上平台下水已经三年，钢纤维只是表面生了锈，先涂水泥浆还有助于纤维在混合物中的分布。据称这样的水上平台具有钢丝网水泥的韧性，但节省了人工费用。水上平台甲板本身不会浮出水面，而是靠一系列聚苯乙烯泡沫大型砌块和护木托出水面的。聚苯乙烯泡沫砌块表面裹着 6mm 厚的玻纤水泥（见图 2）。

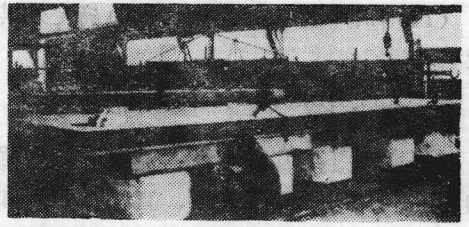


图 2

关于材料的性质，与会者中不少人认为，就纤维混凝土本身而言，应被视为是一种新材料，而不是其它材料的代用品。也有人认为，如果有可能从技术上或经济上证实纤维混凝土优越于已经使用和正在使用的其它材料——木材、石棉水泥、铸铁、钢材、钢丝网水泥或无纤维的混凝土，它将只被看作是可用于任一特殊用途的一种适宜材料。目前急需对纤维混凝土的制造进行技术经济比较。

关于如何成功地应用纤维混凝土，据认为，从现有的实际用途看，如果普通素混凝土或钢筋混凝土能够满足要求，一般地说，就没什么必要往混合物里再增加纤维或用它代替普通筋材。然而，如果对抗拉、抗弯或抗冲击强度有特殊的要求，而普通筋材又无法提供时，纤维混凝土就可发挥作用了。纤维混凝土的性能使之特别适合于制作薄截面的构件，在这种场合，素混凝土太脆，而钢筋混凝土因需要有钢筋保护层则太笨重。

关于纤维混凝土将来的用途，据认为它是多向受力结构的一种天然材料。由于对动态荷载和冲击荷载具有很好的强度，推测其用途必定包括桥面、平面路面、机器设备基础和轨枕。其它提出的可能用途，包括预制建筑板、管子、船壳、墓盖和化粪池等。

（摘译自《Precast concrete》，1972, №11, 681~638; 1974, №1, 31~32和《Civil Engineering》，1974, №1, 39）

3. 日本纤维混凝土的研究重点

- (1) 改进钢筋混凝土脆性;
- (2) 建筑构件轻质化;
- (3) 木材代用品;
- (4) 耐热冲击、化学腐蚀的特殊构筑物;
- (5) 抹面材料的改进;
- (6) 纤维增强机理。

日本研究的纤维有: 金属纤维(主要是钢纤维)、合成纤维(聚醋酸乙烯酯、聚丙烯、尼龙)、玻璃纤维。还研究聚合物-纤维-水泥三元系统。1974年初, 日本从英国进口赛姆菲尔玻璃纤维和赛姆菲尔玻纤水泥的生产技术, 预计不久将自行生产和销售。

(摘译自日本《混凝土杂志》, 1974, №8, 65~66和《Composites》, 1974, №3, 95)

4. 美国玻纤混凝土研究简况

美国得克萨斯大学建筑研究中心正在研究混凝土用的玻璃纤维。使用的纤维系欧文斯-康宁玻璃钢公司提供的特种耐碱玻璃纤维。纤维掺量为体积1.5~2.0%时, 取得了良好结果; 若超过该体积比, 就会使混合物变硬稠, 并失去工作度。浇注过程必须强烈振动, 但据称玻璃纤维较容易分散。结果如下: 与未掺纤维的混凝土相比, 断裂模量提高100%; 使用低强混凝土混合物时, 抗弯强度比未掺纤维的混凝土增高200%, 延性和破裂韧度显著改进。

德戈姆混凝土管公司以玻璃纤维代替钢丝网制造混凝土管。这种新型管子符合美国材料试验标准协会 ASTM, Spec. C76-70对Ⅳ级管的要求。

制造混凝土管时, 在预制管段之间用手工浇注大小头和弯管。由于收缩裂缝问题, 破裂率可以达到30%。据 Buckley 报导, 利

用玻纤混凝土时, 由于纤维控制了收缩裂缝, 破损率接近于零。

Buckley 还报导: ①钢纤维会象针一样地刺破表层, 因此人行道不能使用钢纤混凝土, 玻璃纤维, 其横向强度不大, 就没有这样的问题; ②试验表明, 150mm厚的玻纤混凝土, 其承载能力相当于200mm厚的普通钢筋混凝土路面。

(摘译自《Civil Engineering》, 1974, vol, №1, 39)

5. 苏联研制玄武岩纤维

基辅研究与生产协会用实验装置将玄武岩制成纤维。据称, 这种玄武岩纤维在技术用途上要比玻璃纤维或无机纤维好, 而且便宜。它可以制成象粗棉花一样, 也可以制成薄片或纤维板, 还可制成微细纤维(厚约半微米)或超细纤维(厚1微米半)。它可以在自260℃到700~900℃的温度范围内使用。每立方米超细纤维重为15~17公斤。

在乌克兰阿佐夫斯塔尔平炉厂用玄武岩纤维板进行试验, 发现比石棉板要好。据介绍, 只要几厘米的玄武岩纤维层, 便足以代替1米厚的砖墙。

玄武岩纤维增强的第一批塑料试体, 重量比铝轻1/3。

(摘译自《Precast concrete》, 1974, vol.5, №6, 317)

6. 捷克用玄武岩纤维代石棉的试验

捷克斯洛伐克科学院利用甲基硅氧烷涂敷由熔融玄武岩、高炉渣和浓缩铬或金红石制得的玄武岩纤维。据称经上述涂敷处理的纤维, 在石棉水泥中可代替5~50%的石棉纤维。其特点有二: 一是在组成中除引入TiO₂外, 还引入了ZrO₂和ZnO(TiO₂+

ZrO₂<10%, ZnO<5%)；二是用分子式为 $[(CH_3)_xH_ySiO_2 \frac{4-(x+y)}{2}]_n$ 的聚甲基硅氧烷树脂乳液涂敷纤维表面，式中 $x+y \leq$

2。因并用上列两措施，纤维具有长期耐碱性，与水泥的粘结力也得到提高，由此制得的复合材料的机械性能很好。

玄武岩纤维的组成和表面处理

	化 学 组 成 (%)								
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	MnO	ZrO ₂	Na ₂ O+K ₂ O
I	39.2	10.1	21.0	15.8	4.8	1.6	0.6	3.0	3.1
II	45.6	11.0	10.0	10.1	4.1	5.4	5.4	0.2	4.0

	原 料 组 份 (%)			熔 化 温 度	表 面 处 理 剂 *
	玄 武 岩	高 炉 矿 渣	浓 缩 蜡		
I	70	25	5	1390℃	CH ₃ SiO _{1.5}
II	捷克某地玄武岩+5%金红石			/	$[(CH_3)_{1.2}H_{0.6}SiO_{1.1}]_N$

* 表面处理剂用量，按每公斤纤维计，I 配方为干重 3 克，II 配方为干重 2 克。

(摘译自《法国专利№1582381》)

7. 钢纤混凝土人孔盖

英国水泥与混凝土协会利用液压法制造路边和人行道用的中型人孔盖和框(见图3)。荷载试验表明，液压钢纤混凝土的抗弯强度为 20N/mm²，制品能够满足现有标准对铸铁人孔盖及框的要求，重量与尺寸也

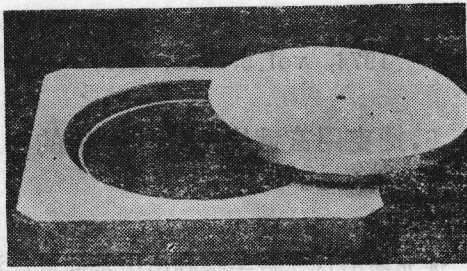


图3 液压钢纤混凝土人孔盖是一个带突缘的圆盘，尺寸与方框相应的孔相吻合；盖上装有适当的提升装置，接合面以橡胶密封。

与铸铁构件差不多。吸水和曝露试验都表明，钢纤混凝土人孔盖和框具有压制铺路板的高度耐久性。成本分析表明，钢纤混凝土制品要比铸铁制品便宜。据估计，单是英国对各种型号的人孔盖和框的需要量就在数十万件以上，因此用来代替铸铁制造人孔盖和框，被认为是钢纤混凝土这种新材料的一个有生命力的用途，预计1974年将开始大批生产。

(摘译自《Precast Concrete》，1974，V5，№7，406)

8. 钢纤混凝土大型公路铺面

1973年9~10月，美国依阿华州某地在长3,800米路段上50年龄期、215mm厚的混凝土路面上，铺设了钢纤混凝土面层。这也是一项研究工程，因此铺层的厚度有变化(50和75mm)，在不同的地方，有的与老的路面连接；有的用塑料薄膜隔开，不与老

的路面连接；有的只与老的路面局部连接。使用钢纤维的长度（25和62mm）、掺量和横截面（圆形和矩形）也都各有不同。据认为，钢纤混凝土看来是铺覆老的开裂混凝土路面的一种“天然的”材料。由普通混凝土或沥青混凝土制作的盖层，使用不到几年，紧接着底下路面的盖层往往就会开裂。纤维混凝土可以克服这种现象，其抗拉强度为普通混凝土的2倍，初裂强度高60%，抗冲击强度大9倍。在上述铺面的施工中，混凝土浇注后14天，抗弯强度（抗拉强度的一项指标）为52.5~77.0公斤/厘米²，大约为二级公路一般用的B级混合物的2倍。关于拌和过程中纤维结团问题，据称在该项工程施工中由于采取以下两项措施已获得解决或接近于解决：①利用美国钢铁公司提供的新型振动筛，在将纤维加入混凝土混合物之前，松散经长途运输后从容器（0.03米³）卸下的纤维团；②在施工现场的混凝土中心搅拌站，纤维是在所有其它组份都加入搅拌器后才逐渐加入的；在混合物转运站，搅拌器内先加入70%水，然后依次加入集料、纤维和水泥，最后加入剩余的30%水。

该工程投资21万美元。

（摘译自《Civil Engineering》，1974，№1，38）

9. 美国钢纤维的生产规格和成本

规格主要有以下三种：①扁钢纤维——尺寸0.010×0.022×1.0吋，相当于直径0.016吋的圆钢纤维，由厚0.010吋的低碳钢板切成宽1.0吋的钢带，进而切短为所需的尺寸，系美国钢铁公司的独家产品，商标“Fibercon”；②圆形钢纤维——尺寸为直径0.016×长1.0吋，系最广泛使用的钢纤维，由切短冷拔钢丝制得，生产公司有两家——国家标准公司和大西洋金属丝公司；③扁截面和圆截面均匀相间的异形纤维——最

常用的尺寸：圆截面直径为0.016吋，扁截面为0.010×0.020×0.75（长）吋，商标称“Duiform”，国家标准公司生产。目前正在发展一种两端相接的纤维圈，以代替直纤维。

钢纤维的生产成本（1973年）为18美分/磅。由于没有散装运输设备，钢纤混凝土的分批配料费用稍高于普通混凝土，每磅纤维要增加0.5美分。因此，搅拌机内的钢纤维，其成本平均为20.5美分。对于纤维掺量为体积1.5%的普通钢纤混凝土混合物，每立方码混凝土的钢纤用量为195磅。单是纤维的成本，每立方码混凝土就要增加约40美元，加上现浇混凝土本身的成本40美元/码³，钢纤混凝土的成本约为80美元/码³。为此必须合理利用材料（如设法减少构件厚度），充分发挥材料的有利特性，使用才不会因成本高而受到限制。

（摘译自《AD—761077》，1973）

10. 英国赛姆菲尔波纤水泥发展简况

1967年，英国建研所（BRS）马江达尔（Majumdar）主持的材料研究组提出了耐水泥碱份腐蚀的玻璃纤维的配方。之后，英国国家研究与开发公司（NRDC）将此列为具有重大价值的政府发明，并促成建研所与英国玻璃大垄断组织——别尔金顿公司建立密切的协作关系，由后者担负研究这种玻璃纤维的大批生产任务。1970年间，别尔金顿公司花了六个月（5~11月）的时间，研究证实了马江达尔的主要结果，之后在1971年实现了中间生产，产品定名为“赛姆菲尔”。同年1月，建研所、别尔金顿公司和国家研究与开发公司便共同正式宣布，增强波特兰水泥的耐碱玻璃纤维的研制有了突破。目前，这种新型耐碱玻璃纤维已经大批生产，

供应英国国内和国外（包括丹麦、法国、日本、新西兰、西班牙、瑞典、美国和西德）的65家大工业公司制造玻纤水泥制品。1974年，别尔金顿公司因参与发展赛姆菲尔耐碱玻璃纤维及其在制造玻纤水泥制品中应用的研究，获得了英国混凝土协会1974年的发明奖。

玻纤水泥（GRC）实际上是以净水泥代替塑料的一种类似玻璃钢（即玻璃纤维增强塑料GRP）的无机材料。利用它可制造薄截面的轻质高强面板和其它构件。最小厚度可达5 mm。现在玻纤水泥的实际用途正在日益扩大，据称今后可望用它代替石棉水泥、木材（尤其是建筑部门用的木材）以及金属薄板，甚至代替玻璃钢（在要求耐火的场合）。

1968~1973年间，英国建研所和别尔金顿公司在这项研究上共投资4千万马克（折合人民币2,500万元），从材料研制到制品生产进行了全面深入的研究，现在仍在继续研究。研究内容包括以下七个方面：

- 1) 无机材料（包括石膏、水泥、混凝土、硅酸钙等）中掺入纤维（包括短纤维和长纤维）的研究；
- 2) 适宜的玻璃纤维的试制和生产研究；
- 3) 制品的种类与用途研究；
- 4) 在实验室试制建筑材料；
- 5) 试制板材各项物理、机械性能的研究；
- 6) 投产方式研究；
- 7) 正式生产与销售研究。

玻纤水泥仅是研究的纤维复合材料（包括玻纤水泥、玻纤石膏、玻纤混凝土等）中的一种，现已就水泥类型（波特兰水泥、高铝水泥、超硫酸盐水泥）、水灰比、无机外加剂（例如砂、轻集料和粉煤灰）、减水剂和增大流动度的有机外加剂等诸种变数以及

赛姆菲尔纤维的长度、直径、集束方式、方向和数量等问题，进行了广泛深入的探讨。目前正在继续研究，主要是为了扩大对材料的认识、考验玻纤水泥制品的长期耐久性以及拟出更为耐久的玻璃纤维配方，以进一步扩大玻纤水泥能够使用的范围。

赛姆菲尔纤维（属 $\text{Na}_2\text{O}-\text{ZrO}_2-\text{SiO}_2$ 系统）可以和湿水泥预先混合，然后泵送、浇注、离心成型、喷射成型（图4—6）、挤压成型或注模成型。制得的玻纤水泥板，在未凝固状态下可折叠或再加压成为更薄的板和异形构件（见图7—8）以及与玻璃钢制品类似的各种复杂形状。

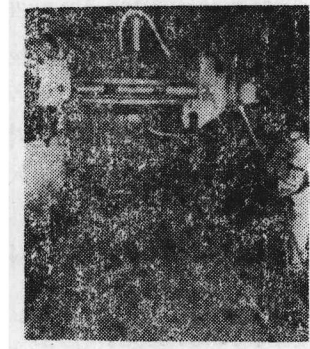


图4 用英国建研所的喷吸设备同时喷射水泥浆和切短了的耐碱玻璃纤维在一个吸模上，制造玻纤水泥板。

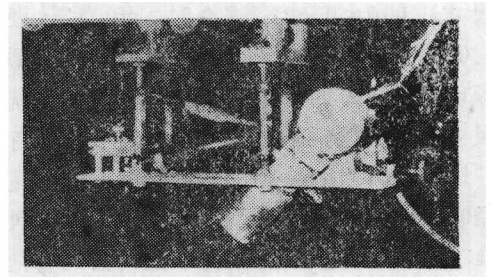


图5 别尔金顿公司实验泥-纤维喷头。

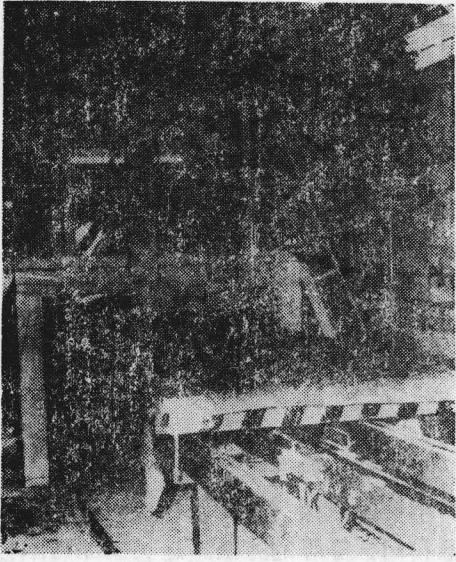


图6 别尔金顿实验所的实验性半自动化喷射-吸水作业线

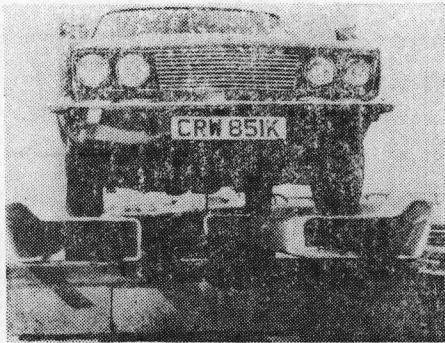


图7 由折叠玻纤水泥板制得的桥板构件(厚9mm)



图8 10米长的折叠式结构

目前,在产品试制和实际应用中主要是利用玻纤水泥以下五个突出的特性:

1) 抗冲击强度高;

2) 在点冲击下,其破坏是逐渐发生的,呈现延性破坏方式,而不是水泥和混凝土的脆性破坏方式,因此能够有效地发挥基体的抗拉强度;

3) 破坏时的抗拉和抗弯强度极大地提高;

4) 耐火性能好,易燃率和熔化率实际为零;

5) 易成型。

玻纤水泥的性能随纤维掺量不同而有很大变化,掺量为5%时,断裂模量为350~420公斤/厘米²,掺量为8%时,为560公斤/厘米²。在各种不同的条件下,喷吸法成型的玻纤水泥,当短切纤维掺量为体积4%时,其三年后的抗弯强度超过200公斤/厘米²(20MN/m²)。

目前正在试制和已投入使用的玻纤水泥制品,大体未超出板材的范围,主要有以下几种:

覆面板	窗框、门框
夹心板	管子(离心管)
永久模板	船壳
桥板	污水管衬板
路标	机器架座
抹面材料	隧道衬里

通风管(见图9):安装在利物蒲三层地下停车场的通风管,是最早投入使用的一种玻纤水泥制品。尺寸约3.5×0.9×0.8米,底部壁厚25.4mm,至顶部减小为12.7mm,经得起以8公里/小时速度通行的汽车的冲撞。

覆面板:图10和11是用于建筑物——别尔金顿公司玻璃纤维分公司圣海仑新工厂——上的覆面板。前者的尺寸为2.1×1.5米,厚仅12.7毫米,重量比类似尺寸的轻质

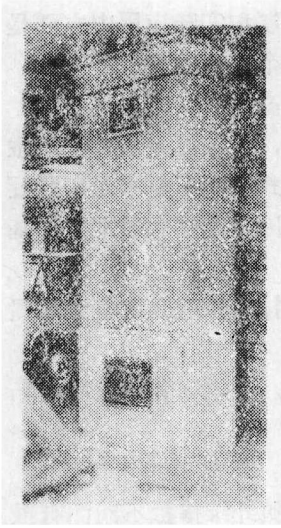


图9

混凝土轻1/4, 锯切和用螺丝固定都很方便。夹心板也用于覆面, 构筑侧墙、楼梯间壁板和 tankroom。尺寸为 2.7×1.6 米, 以 59 mm 的膨胀聚苯乙烯为夹芯, 外部覆以 6 mm 的玻纤水泥, 重仅 21 kg/m^2 。还有用白水泥和彩色水泥制造大型饰面板, 品种比较多,

图12为已实际应用的 3.2 m^2 悬挂式面板, 重仅 80 公斤。

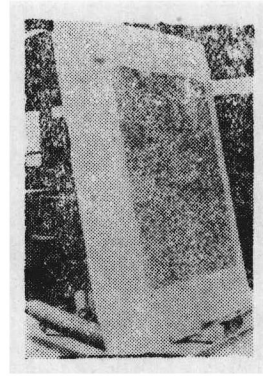


图12

其它房屋构件: 正在探讨利用玻纤水泥代替木材制造楼梯、托梁、楼板、踢脚板、窗框和门框等等的方法。这类制品与木材相比, 首先是便宜, 其次是耐火。图13是注模-加压法制得的窗框, 左边是用玻纤水泥制得的窗框, 火烧30分钟不坏。

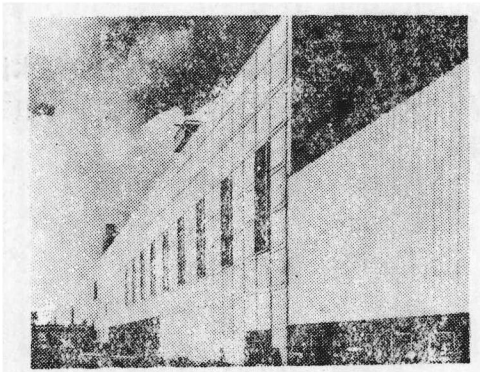


图10

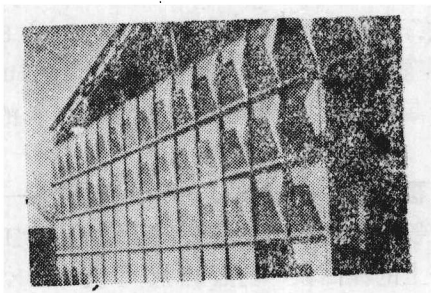


图11

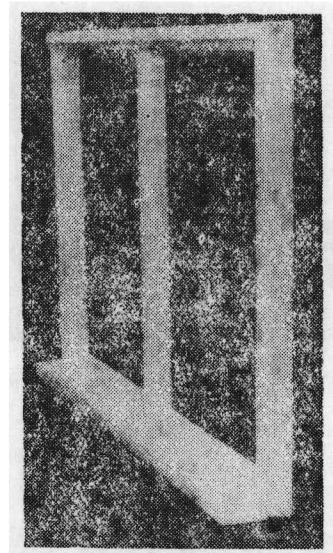


图13

挡土墙板 (见图14和15): 公路挡土墙不用模板, 而由每个重只 16 公斤的玻纤水泥空心六面体并装而成, 钢筋穿过六面体突缘预留孔, 将它们固定在土堤上。